

MODELIZACIÓN TRIDIMENSIONAL CON LÁSER ESCÁNER EN EL COMPLEJO EL SOPLAO PARA FINES TURÍSTICOS (CANTABRIA-ESPAÑA)

LASER SCANNER 3D MODELING OF EL SOPLAO COMPLEX FOR TOURISM PURPOSES (CANTABRIA-SPAIN)

Rubén Pérez-Álvarez, Gema Fernández-Maroto & Julio Manuel de Luis-Ruiz

Universidad de Cantabria, Escuela Politécnica de Ingeniería de Minas y Energía – Torrelavega, Cantabria, España.

E-mail: ruben.perez@unican.es; gema.fernandez@unican.es; julio.luis@unican.es.

Resumen

La solución de un gran número de problemas prácticos, que existen en muchas áreas de la actividad humana, pasa por realizar medidas topográficas que permiten crear modelos del mundo real, a partir de los cuales es posible conseguir un cierto conocimiento sobre los objetos que son medidos y plantear la mejor solución posible para el problema suscitado. Para realizar las medidas es importante adquirir la información de forma rápida, precisa y con costes mínimos, lo que justifica la búsqueda constante de nuevas técnicas, que permitan la medida directa y continua de forma tridimensional. Así, en los últimos años de la década de los 90, se empezó a desarrollar una técnica denominada exploración con láser escáner terrestre. La aparición de estas tecnologías altera sustancialmente los métodos de trabajo y, por tanto, los resultados, siendo éstos notablemente más satisfactorios. El láser escáner modifica la concepción de levantamiento tridimensional, al obtener mediante barrido láser miles de puntos en un corto espacio de tiempo con excelentes precisiones. En base a un escaneado tridimensional de los objetos existentes en el terreno, los productos derivados de la toma de datos son múltiples, mostrando precisiones en la posición relativa de los puntos de entre 5 y 10 milímetros, a una distancia menor de 100 metros, dependiendo de la densidad de escaneado y distancia al objeto. La aplicación de esta nueva tecnología se presenta como la mejor alternativa para cubrir las expectativas de rapidez y comodidad en la captura de observables que permitan el desarrollo de bases de datos, realmente fieles, y que posibiliten conservar en formato digital la información suficiente para el mantenimiento e incluso la reconstrucción del objeto tomado. En el presente artículo se describen los trabajos realizados en este sentido en el complejo minero en el que se ubica la Cueva El Soplaio (Cantabria-España), con vista a su utilización para la actividad turística.

Palabras-Clave: El Soplaio; Láser Escáner; Modelización Tridimensional; Cavernas y minas turísticas.

Abstract

The solutions for many practical problems that can be found in many areas of human activity require the development of topographical measurements that allow generating models of the real world. These models provide certain knowledge about the objects which are measured, in order to purpose the best solution for the problem considered. It is important to acquire the information in a fast, accurate and non-expensive way, what justifies a constant research for new techniques that provide a direct and continuous 3D measure. Hence, during the late 90s the development of a technique called terrestrial laser scanner began. The emergence of these technologies substantially alters work methods and therefore the results, which are remarkably satisfactory. Laser scanner modifies the conception of 3D survey, as it captures thousands of points per second with excellent accuracies. On a basis of a 3D scan of the objects that exist on the terrain, outputs obtained from the data acquisition are numerous, showing relative accuracies for the points that range between 5 and 10 mm, depending on the density of the scan and the distance to the object. The application of this new technology is shown as the best alternative in order to meet speed and comfort expectations in the capture of observables that allow developing reliable data-bases to apply in the maintenance and reconstruction of the object observed. The works conducted in the mining complex where Cave El Soplaio is located (Cantabria-España), are described in this paper, and also with a view to their use for tourism.

Key-Words: El Soplaio; Laser Scanner; 3D-modelling; Tourist caves and mines.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes. El Grupo Minero La Florida

Los trabajos descritos en el presente artículo han sido desarrollados en El Grupo Minero La Florida, que se encuentra en el borde oeste de Cantabria (norte de España), próximo a la frontera con Asturias. Las labores se distribuyen en los municipios de Rionansa, Valdáliga y Herrerías (Figura 1), situándose la mayoría de las explotaciones en la denominada Corona de Arnero, comprendida entre la Sierra de Arnero y el Escudo de Cabuérniga.



Figura 1 - Situación de los municipios de Rionansa, Herrerías y Valdáliga.

Las actividades mineras desarrolladas en dicho complejo tuvieron como consecuencia el descubrimiento en 1908 de la Cueva El Soplao (Figura 2), mundialmente conocida además de por los múltiples hallazgos científicos que ha propiciado, por la profusión de espeleotemas. Especialmente relevantes son las formaciones excéntricas. Desde hace ya algunos años, se ha atribuido la generación y desarrollo de las excéntricas a fenómenos de capilaridad, que podrían explicar la génesis de las múltiples morfologías asociadas a este tipo de depósitos. En El Soplao existen numerosos ejemplos de estas morfologías, destacando las ubicadas en la Galería de la Ópera, comúnmente considerada “Capilla Sixtina de la Geología”, en la que se pueden observar excéntricas en sierra, vara, mariposa, concha, cinta, rotativa ascendente, en cuerno de ciervo, o de tipo tornado (Robledo Ardila; Durán Valsero, 2009). El Soplao comprende unos 19,8 km de galerías exploradas, localizados en un paquete de carbonatos marinos del Aptiense (Cretácico Inferior).

Los primeros testimonios históricos documentados relacionados con las Minas del Grupo La Florida, datan de los comienzos de la segunda mitad del S. XIX. En 1857, la reina Isabel II otorga

la concesión “Isidra” a la recién constituida “Compañía de Minas y Fundiciones de la Provincia de Santander” (Cueto Alonso, 2008). Con anterioridad a 1930 la explotación se dividía en tres sectores: el occidental (La Cierre: “Tres Amigos”, “Elvira”), el central (La Florida: “Isidra”, “Isidora”, “Josefita”, “Primera” y “Clara”), y el oriental (Grupo de Minas de Cuévanos, carente de explotación regular). Una descripción del yacimiento de dicha época (Mazarrasa, 1930), señala la presencia de calamina roja de gran riqueza (40-45% de Zinc) desde la superficie hasta unos 160 m de profundidad (ubicación de la Cueva El Soplao), y de sulfuros por debajo de dicho nivel (20-25% Zn, 8% de Pb y 6-8% Fe). La producción anual aproximada era de 650 t de calamina y 600 t de blenda, quedando constatada ya la importancia del aprovechamiento de dicha mena sulfurada, que con posterioridad y junto a la galena serían objeto exclusivo de beneficio. El total de obreros adscritos al Grupo era de 100 mineros en interior y 50 empleados en exterior.



Figura 2 - Vista parcial de las instalaciones de El Soplao.

A partir de 1948 acontece una época de gran desarrollo en el Grupo Minero de La Florida, estando en actividad de Este a Oeste: Cuévanos (donde las labores de investigación cortaron mineralizaciones de entidad insuficiente para justificar posteriores labores), Ligorias, La Clara, Cereceo, Plaza del Monte, La Isidra y La Cierre. Este periodo viene ligado a la aplicación de nuevas estrategias extractivas y a un mayor grado de mecanización, que contribuyeron a situar la producción media anual de los últimos 20 años de explotación en el entorno de las 75.000 t, con riquezas medias en Zinc y Plomo de 4,5% y 0,6% respectivamente (Colina et al., 2003). En 1979 se abandonaron los trabajos, si bien durante un tiempo determinado se continuaron las labores de mantenimiento.

El 27 de Marzo de 2012 se firmó el convenio en el que se sentaron las bases sobre las que se

cimentaron los trabajos para obtener “*Un modelo tridimensional de la zona de galerías mineras existentes en el entorno de la Cueva El Soplao*”, al amparo de otros firmados previamente y que pretendían establecer la colaboración en materia de investigación, desarrollo e innovación de la Universidad de Cantabria con la empresa pública El Soplao, S.L.

1.2. Objetivos de la modelización tridimensional

Los objetivos de este trabajo consisten en la generación de un modelo 3D de aquellas galerías del Grupo Minero La Florida que son susceptibles de un potencial aprovechamiento a través de su puesta en valor para su uso turístico, así como las salidas gráficas derivadas del mismo.

De esta forma, se han obtenido las nubes de puntos constituyentes de dicho modelo, que pueden considerarse además un producto de naturaleza intermedia, a partir del cual generar infografías, ortoimágenes o incluso recorridos virtuales. La simulación de itinerarios a lo largo de trayectorias definidas supone una de las aplicaciones más destacables desarrolladas a partir de los modelos tridimensionales. Los vídeos así obtenidos permiten facilitar el acceso virtual de personal no experto a las labores, así como su distribución y puesta en conocimiento del común de la sociedad, a través de las plataformas 2.0. Entre las ventajas de este producto está la versatilidad, ya que una vez captada la nube de puntos, existe la libertad de marcar el itinerario mediante la inserción de cámaras y trayectorias, pudiendo a partir de un modelo inicial, obtener infinitud de vídeos distintos.

La obtención de dichas salidas gráficas implica la consecución de una serie de materiales que pueden resultar tanto idóneos para la difusión on-line, como para la propia gestión interna, proporcionando una base en función de la cual desarrollar cualquier potencial proyecto de puesta en valor que pueda plantearse, además de un documento de gran interés desde el punto de vista de la gestión de emergencias.

2.- INSTRUMENTAL

El desarrollo de modelos de determinados elementos de la realidad constituye una alternativa de gran interés a la hora de estudiar el comportamiento de ciertos fenómenos, o alcanzar un adecuado conocimiento de los mismos. Dada la naturaleza tridimensional de la realidad, los medios destinados a su captura habrán de serlo igualmente, máxime en la época actual, en la que el nivel de

desarrollo tecnológico facilita las tareas de procesado y la propia visualización eficiente de los datos 3D. Esta observación ha de ser rápida y precisa, además de económica.

Por otro lado, los métodos aplicados tradicionalmente en topografía, tales como los basados en el empleo de las estaciones topográficas, se caracterizan por proporcionar información de naturaleza discreta. Determinadas estaciones topográficas, que presentan la opción de exploración (barrido de las superficies de interés a través de la adquisición de puntos equiespaciados) o la fotogrametría digital, son algunas de las alternativas que han resultado útiles en el planteamiento de iniciativas de puesta en valor y conservación de elementos patrimoniales.

El principal instrumental aplicado en el desarrollo del presente trabajo es el láser escáner, que en esencia se compone de un distanciómetro láser, y una unidad deflectora del rayo, que permite que éste describa un barrido por la superficie o elementos que se deseen capturar. La irrupción de la nueva tecnología basada en el láser escáner supone una revolución no únicamente en lo relativo al instrumental de observación, sino también en la metodología a aplicar, tanto durante la captura como en el propio procesado de datos, además de en la propia concepción de los levantamientos topográficos, auspiciada por la posibilidad que ofrece de adquirir mediante el barrido láser miles de puntos en reducidos lapsos de tiempo. Es común que un único escaneo no ofrezca una visión completa del elemento a considerar, por lo que la identificación de puntos homólogos materializados a través de referencias estandarizadas (dianas, esferas o patrones bicolors), o de elementos de geometría particular que aparezcan en varias capturas, puede contribuir a la unión de dichos escaneos, incrementando la densidad de la nube de puntos resultante hasta parámetros de espaciado entre puntos que pueden resultar inferiores a 1 cm. El producto así obtenido, en contraposición con las alternativas tradicionales de modelización en base a puntos codificados y croquización, se caracteriza por su masividad, una cuasi-continuidad, y por la no jerarquización de la información: una vez estacionado el instrumento en un punto, y habiéndose fijado el área a captar, se observará el total de elementos que ofrezcan una superficie sobre la que el láser pueda incidir, proporcionando además de información métrica (coordenadas x,y,z relativas con respecto al propio instrumento, que con posterioridad podrán referirse a un sistema absoluto), datos radiométricos.

El láser escáner cuenta con numerosas aplicaciones en ámbitos diversos, tales como estudios geotécnicos (Mah et al., 2013), obtención de modelos de suelos de alta resolución (Hancock et al., 2008), análisis de fenómeno de flujo de terrenos (Tarolli et al., 2013), monitorización de costras de origen biológico en elementos de obra civil o arquitectónicos (González-Jorge et al., 2012), análisis de geodinámica litoral (Barbarella; Fiani, 2013), puesta en valor y conservación de patrimonio arquitectónico (Núñez et al., 2012; Oreni et al., 2012), auscultación de edificios (Bonali et al., 2014), generación de modelos urbanos de inundación (Sampson et al., 2012) o aplicaciones silvícolas y de evaluación de biomasa (Pueschel, 2013) entre otras.

La disponibilidad de esta tecnología y los procesos asociados a la misma invitan a cuestionar las metodologías clásicas empleadas en la representación, tradicionalmente bidimensional, en favor de los productos que el láser escáner permite generar, que cuentan con aplicaciones tanto para la gestión y conservación de un determinado activo de patrimonio geológico-minero, como para la puesta en valor y publicitación del mismo a través de las plataformas 2.0.

3. METODOLOGÍA

En todo trabajo de índole topográfica que se desarrolle en una determinada localización, resulta de vital importancia contar con un sistema de referencia que permita proceder a todos aquellos encajes planimétricos y altimétricos que puedan requerirse para el normal del mismo. Este sistema posibilita además el establecimiento de un marco unificado para la superposición de los diversos niveles de información con que se pueda contar, resultando de gran interés para todas aquellas actividades de gestión a las que puedan destinarse. Dada la existencia de redes tanto planimétricas (Red Geodésica Nacional), como altimétricas (Red de Nivelación de Precisión), resulta relativamente cómodo dotar de coordenadas en base a dichos sistemas de referencia (X,Y,Z) a una red local, que facilite el desarrollo y gestión de los posteriores trabajos.

Es por ello que como paso previo a las actividades de modelización se requirió la implantación de una serie de vértices topográficos que cumpliesen la misión anteriormente señalada. Tras un estudio de detalle de las redes preexistentes, se diseñó aquélla a establecer en los exteriores de las principales unidades consideradas en el desarrollo del trabajo. Su implantación y observación mediante GPS garantiza en un futuro la existencia de una red

de vértices desde la cual enganchar todos aquellos trabajos topográficos que puedan realizarse, dotando a los mismos de coordenadas en un sistema de referencia absoluto. Las características principales de dicho sistema quedan recogidas a continuación:

- Ω Sistema de Referencia ETRS89 (*European Terrestrial Reference System 1989*). El R.D. 1071/2007 de 27 de julio regula la adopción en España del sistema de referencia geodésico global ETRS89, sustituyendo al sistema geodésico de referencia regional ED50.
- Ω Coordenadas planimétricas en Proyección UTM (*Proyección Universal Transversa de Mercator*), proyección oficial desde julio de 1970.
- Ω Coordenadas altimétricas respecto al NMMA (Nivel Medio del Mar en Alicante), mediante nivelación GPS y con enganche previo a clavos de la red de nivelación.

Con el fin de garantizar una precisión de la red adecuada, y adoptando una escala de representación 1/500, se procedió a la observación y enganche de los vértices topográficos con la estación permanente del Gobierno de Cantabria ubicada en Puentenansa, empleando para ello dos receptores GPS marca Leica, modelo del sensor GS-15, con observación de fase en L1 y L2, observando mediante RTK y grabando las coordenadas de cada una de las bases cuatro veces. Las coordenadas finales se obtuvieron a partir de la media de dichas observaciones, siempre y cuando la diferencia no superase los 3,5 cm. Con el fin de actualizar la cartografía exterior existente, se desarrollaron igualmente una serie de levantamientos topográficos mediante GPS y estación topográfica (marca Geodimeter, modelo System 540) en las inmediaciones de las bocaminas de Cereceo, Clara, La Cuerre, Isidra y Plaza del Monte.

Una vez concluidos los trabajos de observación en exterior, se configuró y observó la red interior en las galerías mineras, mediante el empleo de estación topográfica. Dada la complejidad de las labores, la magnitud del trabajo, y la necesidad de intervisibilidad entre las bases, esta red (Figura 3), que sirvió con posterioridad para la adecuada georreferenciación de las nubes de puntos, se caracterizó por una mayor complejidad que la establecida en el exterior, contando con un total de vértices próximo a los 350.

Dadas las características de las labores a observar, con una importante componente lineal en determinados tramos, se realizaron un total de 675 escaneos, con un posicionamiento de 14.000 millones de puntos, que definen de forma pormenorizada el modelo tridimensional de las

galerías mineras, con una información inicial asociada de 72 Gb. De los 25,6 km de galerías mineras identificadas con los que a priori cuenta el entramado minero, se han observado unos 6 km (Figura 4). El instrumento seleccionado para esta fase de observación fue un láser escáner marca FARO, modelo FOCUS 3D, caracterizado por unas reducidas dimensiones y peso, resultando ideal para

el tránsito por labores estrechas. Su interfaz táctil posibilita además un manejo sencillo, no requiriendo del transporte y utilización de un ordenador portátil para el control de la operación. Este instrumento permite medir distancias de rangos comprendidos entre los 0,6 y los 120 m, con precisiones próximas a los 2 mm y ritmos de captura cercanos al millón de puntos por segundo.



Figura 3 - Superposición de la poligonal interior y la ortoimagen correspondiente.

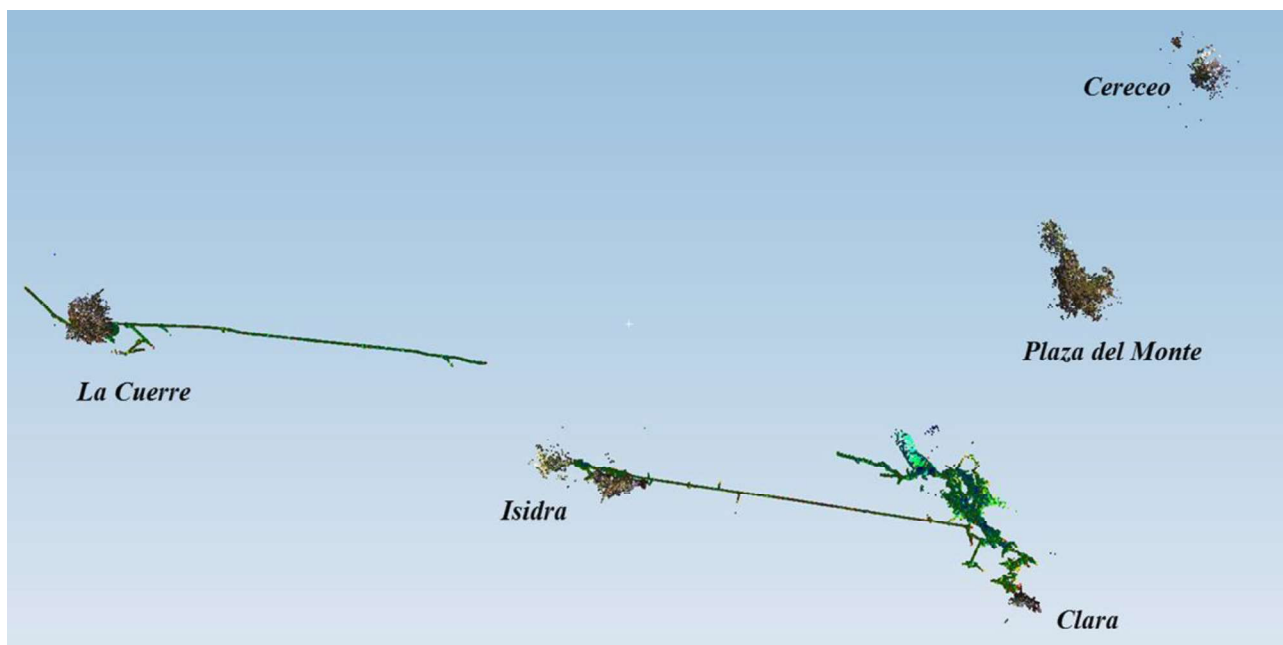


Figura 4 - Relación de labores observadas, representadas en planta.

El recorrido descrito en las labores de captura puede definirse en base a dos localizaciones principales. Los trabajos en la primera de ellas, asociada a la Mina Isidra, comenzaron en la bocamina próxima al transformador, avanzando hasta la entrada de la torca, cercana a la primera.

Seguidamente se accedió a la Galería de La Maestra, prosiguiendo la observación hacia Mina Clara, ascendiendo hasta el exterior, para posteriormente descender, alcanzando la cabeza del plano inclinado de Isidra (Figura 5). Desde aquí se trazaron dos recorridos principales: el primero de ellos siguió

dicho plano inclinado hasta alcanzar la zona derrumbada, y el segundo de ellos describió el itinerario alternativo que existe, hasta alcanzar el final de dicho plano inclinado y el nivel de la Cueva El Soplo. Una vez ahí, se avanzó hacia la zona comúnmente conocida como “El Infierno”, anexa a la Galería de la Sirena. Seguidamente se retornó al nivel de la Cueva, para posteriormente descender hasta el distribuidor, y proseguir el avance a la Galería de los Sondeos. El acceso a Ana y Las Ligorias no fue posible por la anegación de dichas labores.

La segunda zona fundamental a considerar en los trabajos es la asociada a la Mina de La Cuerre

(Figura 6). Accediendo por la denominada “Puerta de Hierro”, se alcanzó por la rampa de explotación el Segundo Nivel, ascendiendo a partir de éste hasta el Primer Nivel. Las condiciones de la rampa de descenso, que dificultaban significativamente el acceso aun sin instrumental topográfico, y la imposibilidad de establecer conexión alguna entre las zonas de La Isidra y La Cuerre a través de la Galería General de Transporte de Cereceo, hizo que los esfuerzos se centraran en la definición de esos dos primeros niveles, susceptibles de una sencilla puesta en valor.

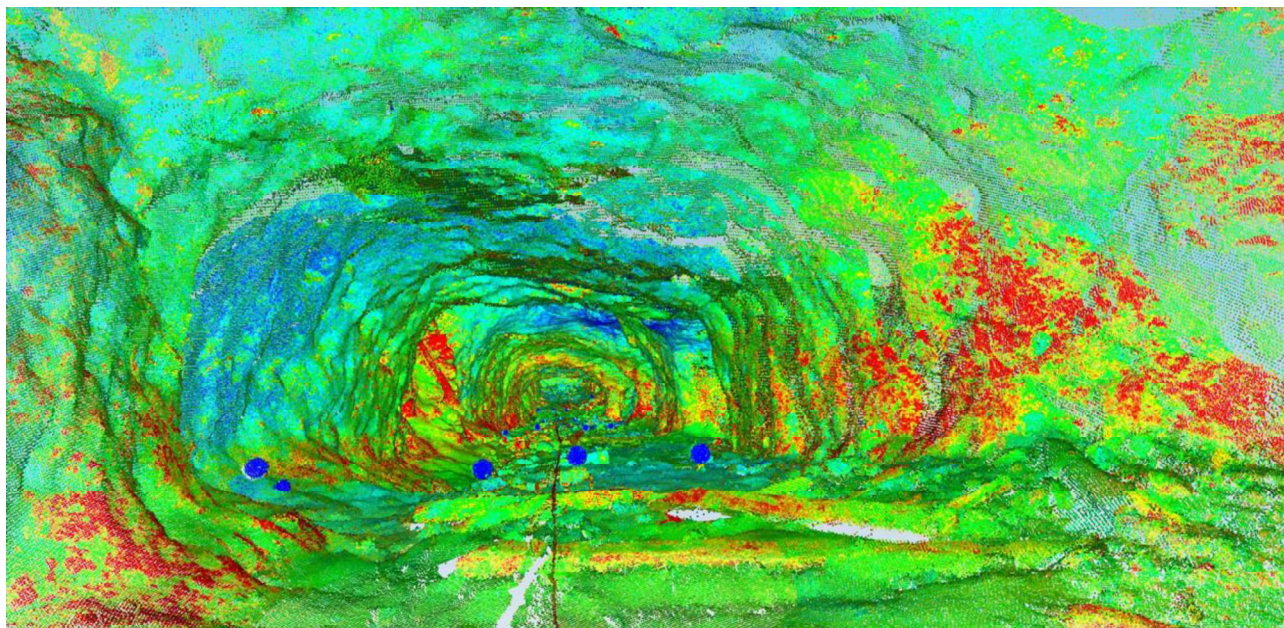


Figura 5 - Plano inclinado de La Isidra.

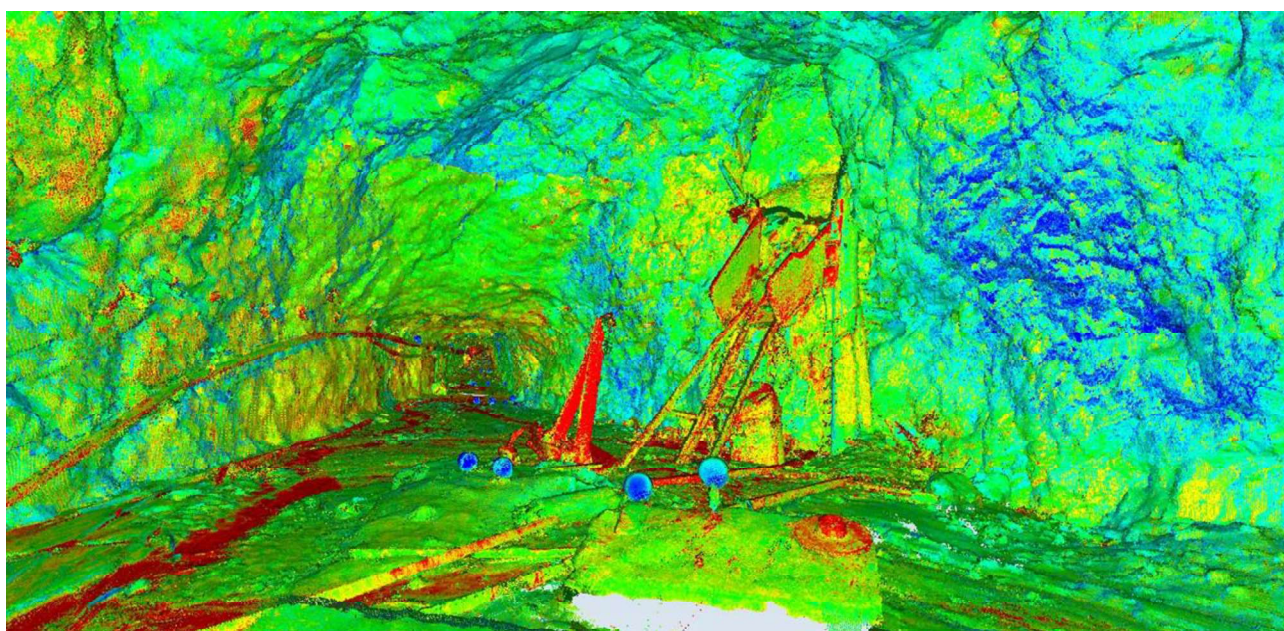


Figura 6 - Cargadero en La Cuerre.

El láser escáner proporciona nubes de puntos brutas en un sistema de referencia local, de forma que una vez realizada toda la secuencia de escaneos que se desea llevar a cabo, requiere de la unificación y georreferenciación en una única nube de puntos. Dichas nubes de puntos pueden considerarse el primero de los productos obtenibles a partir de las metodologías de trabajo basadas en el láser escáner. La plataforma elegida para el tratamiento de datos, debido básicamente a su volumen, ha sido el programa Cyclone de Leica, herramienta informática que se ha especializado precisamente en la gestión de datos procedentes de láser escáner, aunque éstos no procedan de equipos desarrollados por dicho fabricante.

Los paquetes de gestión de datos existentes en la actualidad presentan algoritmos específicos destinados a la depuración, la identificación de formas geométricas primitivas en base a las que modelizar estructuras, la generalización o simplificación de las nubes, etc. Como operaciones básicas del procedimiento de gestión seguido para el tratamiento de la nube de puntos pueden señalarse el registro de varios escaneos (alineación y referencia de los mismos con respecto al sistema de coordenadas relativos de uno de ellos), depuración, unificación (generación de una única nube de puntos a partir de las capturas independientes) y georreferenciación (traslación de la nube de puntos a un sistema absoluto, a partir de la caracterización de las bases de unión consideradas y de sus coordenadas con respecto al mismo). Conviene señalar que el orden de desarrollo de dichas operaciones puede diferir en función de las necesidades específicas de tratamiento, que se suele caracterizar por notables demandas en tiempo, recursos de hardware/software y formación específica del personal dedicado al mismo.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A partir del desarrollo de los trabajos se ha obtenido un modelo que recoge labores emplazadas en las localizaciones de La Cierre y La Isidra, incluyéndose además las capturas exteriores anteriormente señaladas. Uno de los principales aspectos de interés del modelo reside en la precisión relativa entre puntos del mismo, posibilitando la realización de mediciones en el ámbito reducido de las zonas en las que se prevea la actuación, proporcionando en tal caso precisiones de orden centimétrico. Éste es precisamente el gran potencial del modelo realizado: tener representadas tridimensionalmente las galerías y poder llevar a cabo las mediciones que se deseen, perfiles longitudinales, secciones transversales, cubicación

de movimiento de tierras, generación de cartografía convencional, etc., de forma sencilla, rápida y precisa, a través del empleo del software adecuado.

A partir de la nube de puntos se han obtenido igualmente ortoimágenes de elementos singulares que pueden resultar de especial interés para El Soplao, S.L., tales como el Castillete de La Cierre, el transformador anexo, o el edificio del compresor de la Plaza del Monte. Para la obtención de las ortoimágenes, desarrolladas mediante Cyclone, se ha adoptado un plano de referencia significativo con respecto al elemento observado. Una vez definido éste, se fijó un sistema de proyección ortográfico, seleccionándose posteriormente una cámara virtual a partir de la cual realizar la captura en perpendicular al plano de referencia, exportando los elementos recogidos en pantalla en un formato adecuado.

El tercer producto de interés a considerar es el constituido por los recorridos virtuales. En la obtención de estos videos se ha empleado nuevamente el programa Cyclone de Leica. Para el desarrollo de los videos se seleccionó una serie de puntos en los que se emplazaron cámaras virtuales, dispuestas a alturas de observación determinadas. A partir de las mismas, se generó una *spline* (Figura 7): dicha curva describe el desplazamiento del observador en el modelo. Para completar la definición de las características del vídeo, se definieron aspectos tales como la tasa de *frames* por segundo, la resolución, el factor de compresión y el formato. Estos productos se caracterizan por un importante peso si se obtienen a máxima resolución, por lo que suele recomendarse recurrir a tramos determinados de longitud no excesiva, que los mantenga por debajo de los 2 Gb. Teniendo en cuenta la naturaleza de las labores, con una longitud total observada de 6 Km, se optó por la realización de recorridos significativos en zonas concretas (La Isidra, Plaza del Monte, La Cierre, Clara, etc.), adoptando puntos de vista que van desde el recorrido en primera persona de un potencial observador que visite las labores, a vuelos externos y rotaciones que aportan una adecuada visión de la geometría del conjunto, resultando productos muy intuitivos para el usuario final al que el vídeo se destine.

Las posibilidades que esta tecnología ofrece no quedan restringidas a los productos obtenidos a partir de la nube de puntos, ya que la generación de mallas a través del empleo de software adecuado, supone una alternativa de trabajo que amplía dichas opciones (Figura 8). Concibiendo la malla, al igual que ya se hiciese con la nube de puntos, como un producto que cuenta con una entidad tanto final como intermedia, es posible obtener salidas de

diversa índole: infografías, ortoimágenes, recorridos virtuales, o aplicaciones y PDFs interactivos.

A la luz de lo mencionado anteriormente, es posible considerar algunas alternativas de uso de los productos generados, pudiendo distinguir entre aplicaciones ligadas a la fase de desarrollo del proyecto de puesta en valor, y aquellas adecuadas a la etapa de explotación del mismo. Teniendo en cuenta el proceso de rehabilitación o adecuación para visitas de un activo de patrimonio minero o geológico, siendo aplicable no únicamente al caso aquí considerado, las nubes de puntos obtenidas a partir de la aplicación del láser escáner constituyen una adecuada base de referencia para la obtención de

la información geométrica requerida para el propio desarrollo del proyecto y la implementación de las soluciones ingenieriles planteadas. La precisión en la definición de las coordenadas y la profusión de puntos obtenida en las nubes permite considerar estos recursos como herramientas de alto interés para la evaluación y presentación de las distintas alternativas de habilitación que se barajen, permitiendo la inserción de dichas soluciones constructivas en un marco realista que retrate de forma fiel la situación inicial del elemento considerado, facilitando la interpretación de las mismas, y favoreciendo la toma de decisiones en fase de proyecto.

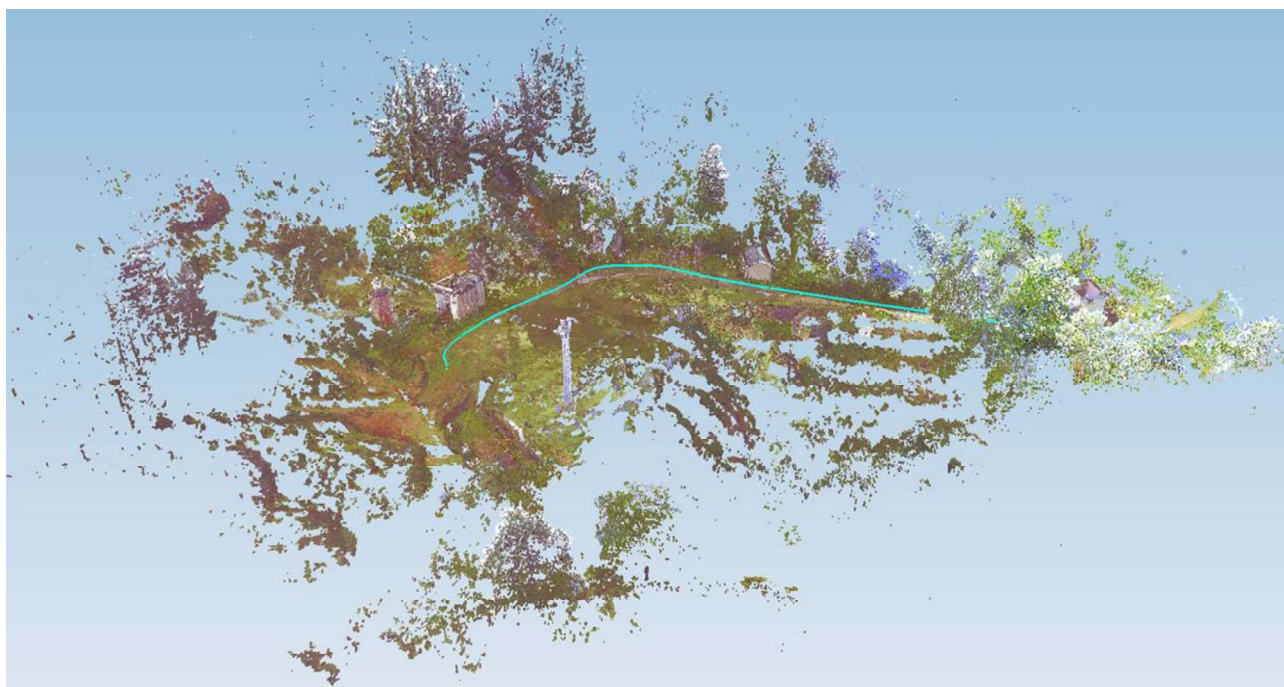


Figura 7 - En azul, spline para la introducción del recorrido a realizar en la generación de un itinerario virtual.

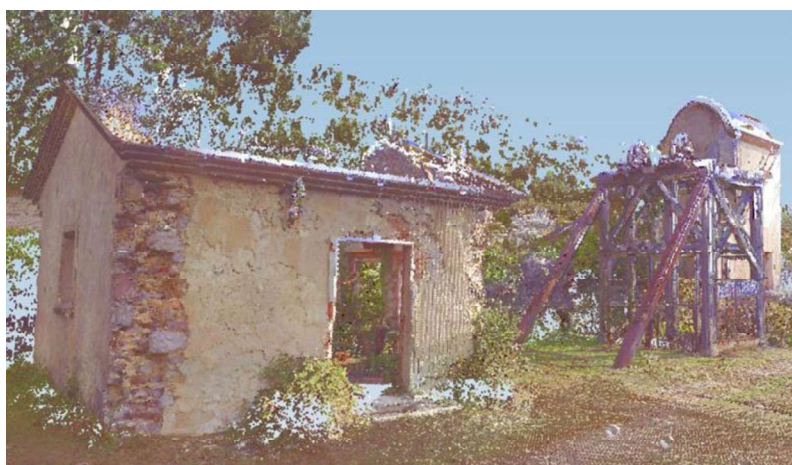


Figura 8 - Nube de puntos del entorno del Castillete de La Curre, y malla del mismo.

Otra vía de aprovechamiento de carácter general de este tipo de producto reside en las posibilidades de virtualización del bien de interés, que permiten su acercamiento a potenciales usuarios,

favoreciendo los procesos de difusión y comercialización. Resulta por tanto posible plantear la generación de visitas o recorridos virtuales con distintos niveles de interactividad, en función de la

plataforma y sector demográfico al que se orienten. Podrá por tanto trabajarse en base a recorridos cerrados, distribuidos en formato video a través de repositorios generalistas como Youtube o ubicados en la propia página web asociada a la Cueva o Mina Turística, o desarrollar herramientas interactivas basadas en la generación y aprovechamiento de modelos fotorrealistas, generados en base a las mallas derivadas de las nubes de puntos y a la utilización de imágenes proporcionadas por el propio láser escáner, o por cámaras externas al mismo. El empleo de motores gráficos, coincidentes con frecuencia con los utilizados en la industria del videojuego, permite obtener recorridos en los que el grado de inmersión del potencial observador, asociado a la libertad de desplazamiento por los mismos, resulta muy superior a la alcanzable mediante otras alternativas audiovisuales.

Las aplicaciones así generadas pueden plantearse como alternativas para la difusión en Internet, la utilización en ferias y congresos turísticos, o incluso para su implementación en salas debidamente equipadas en los centros de recepción de visitantes o de interpretación. El grado de inversión asociado a dicha implementación podrá variar en función de las interfaces seleccionadas, pudiendo recurrir a la instalación de terminales informáticos individuales dotados de dispositivos de control físico o de pantallas táctiles, o a otras alternativas, como sistemas de proyección en grandes pantallas o gafas de realidad virtual. Es interesante mencionar que esta alternativa puede constituir una vía útil de promoción tanto durante el periodo previo a la apertura al público del recurso turístico, como durante la explotación del mismo.

Deberá además tenerse en cuenta que, si bien el grado de satisfacción derivado de la experiencia asociada a la utilización de la herramienta virtual puede diferir de forma notable en función de las condiciones de utilización y del propio usuario, contar con esta alternativa puede contribuir a acercar determinados tramos del activo que por sus particulares características no sean de acceso aconsejado, a posibles usuarios sin formación espeleológica específica o con problemas de movilidad reducida.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARBARELLA, M.; FIANI, M. Monitoring of large landslides by Terrestrial Laser Scanning techniques: field data collection and processing. **European Journal of Remote Sensing**, v.46, p.126-151, 2013.
- BONALI, E.; PESCI, A. CASULA, G.; BOSCHI, E. Deformation of ancient buildings inferred by terrestrial laser scanning methodology: the Cantalovo Church case study (Northern Italy). **Archaeometry**, v. 56, n.4, p. 703-716, 2014.

5. CONCLUSIONES

Los trabajos realizados y los resultados obtenidos a partir de los mismos permiten afirmar que el modelo tridimensional de las galerías mineras existentes en el entorno de la Cueva El Soplao satisfará una serie de objetivos fundamentales, en base a los que se planteó:

- Ω Permitirá generar documentos gráficos con un adecuado nivel de detalle, que posibilite la redacción de los pertinentes proyectos de habilitación y valorización de zonas de potencial interés turístico en el entorno de El Soplao. Igualmente resultará de interés para el desarrollo de posteriores campañas de investigación, habiéndose establecido un adecuado marco de referencia para la conexión de las posibles nuevas cartografías espeleológicas generadas.
- Ω Aportará una información vital ante una intervención de los servicios de urgencia.
- Ω Facilitará la difusión digital del complejo turístico mediante recreaciones virtuales del entramado minero existente en la zona.

La generación de este modelo tridimensional constituye en sí mismo una herramienta única en el ámbito de las Cuevas y Minas Turísticas, que ofrece una gestión totalmente diferente desde el punto de vista técnico, científico y de difusión turística de la propia Cueva. Todas estas alternativas pueden revestir interés tanto para la propia gestión interna del bien patrimonial puesto en valor (pudiendo aplicarse en iniciativas formativas, conservación, peritajes, auscultaciones, etc.), como para el desarrollo de campañas divulgativas. Las aplicaciones que pueden darse a los mismos adquieren por tanto una doble vertiente, tanto off-line como on-line.

AGRADECIMIENTOS

Desde estas líneas queremos agradecer a la empresa pública El Soplao, S.L. y a la Universidad de Cantabria por haber facilitado los medios e instalaciones que han permitido realizar este artículo.

- COLINA, J.; ARGUMOSA, A.; GÓMEZ, F.; SIEGRIED, V.; DE MANUEL, A. **El Soplao, una cavidad única**. Santander: Consejería de Cultura, Turismo y Deporte del Gobierno de Cantabria, 2003. 233 p.
- CUETO ALONSO, G. Una experiencia fallida en la minería del Norte de España: la Compagnie des Mines et Fonderies de la Province de Santander et Quiros (1855-1888). **De Re Metallica**, v.10-11, p.47-56, 2008.
- GONZÁLEZ-JORGE, H.; GONZÁLEZ-AGUILERA, D.; RODRÍGUEZ-GONZÁLVEZ, P.; ARIAS, P. Monitoring biological crusts in civil engineering structures using intensity data from terrestrial laser scanners. **Construction and Building Materials**, v.31, p. 119-128, 2012.
- HANCOCK, G.R.; CRAWTER, D.; FITYIUS, S.G.; CHANDLER, J.; WELLS, T. The measurement and modelling of rill erosions at angle of repose slopes in mine spoil. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 33, p.1006-1020, 2008.
- MAH, J.; SAMSON, C.; MCKINNON, S.D.; THIBODEAU, D. 3D laser imaging for surface roughness analysis. **International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences**, v.58, p.111-117, 2013.
- MAZARRASA, J.M. Estudio de los criaderos minerales de la provincia de Santander. Criaderos de Cinc. **Boletín Oficial de Minas, Metalurgia y Combustibles**, v.157, p.521-550; v.158; p.571-600; v.159, p.631-651; v.160, p.675-692; v.161, p.711-754, 1930.
- NÚÑEZ, M.A.; BULL, F.; REGOT, J.; DE MESA, A. Levantamiento arquitectónico de la Puerta de Antioquía (Alepo). **Informes de la Construcción**, v.64, n.538, p.487-496, 2012.
- ORENI, D.; BRUMANA, R.; CUCA, B. Towards a Methodology for 3D Content Models: The reconstruction of ancient vaults for maintenance and structural behavior in the logic of BIM management. In: GUIDI, G.; ADDISON, A.C. (Eds). 18th INTERNATIONAL CONFERENCE ON VIRTUAL SYSTEMS AND MULTIMEDIA. Milán, 2-5 September, 2012. **Proceedings of the VSMM 2012**. Milán: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2012. p. 475-482.
- PUESCHEL, P. The influence of scanner parameters on the extraction of tree metrics from FARO Photon 120 laser scans. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v.78, p.58-68, 2013.
- ROBLEDO ARDILA, P.; DURÁN VALSERO, J.J. Datos preliminares sobre la tipología, distribución y génesis de las excéntricas en la Cueva El Soplao, Cantabria, España. In: DURÁN, J.J.; LÓPEZ-MARTÍNEZ (Ed.), **Cuevas turísticas, cuevas vivas**. Madrid: Asociación de Cuevas Turísticas Españolas, Madrid, 2009. p. 13-25.
- SAMPSON, C.C.; FEWTRELL, T.J.; DUCAN, A.; SHAAD, K.; HORRITT, M.S.; BATES, P.D. Use of terrestrial laser scanning data to drive decametric resolution urban inundation models. **Advances in Water Resources**, v.41, p.1-17, 2012.
- TAROLLI, P.; CALLIGARO, S.; CAZORZI, F.; DALLA FONTANA, G. 2013. Recognition of surface flow processes influenced by roads and trails in mountain areas using high-resolution topography. **European Journal of Remote Sensing**, v.46, p. 176-197, 2013.

Editorial flow/Fluxo editorial:

Received/Recebido em: Nov.2014

Accepted/Aprovado em: Jul.2015



PESQUISAS EM TURISMO E PAISAGENS CÁRSTICAS

Sociedade Brasileira de Espeleologia (SBE)
Universidade Federal de São Carlos (UFSCar)

www.cavernas.org.br/turismo.asp

Refrendada por la Asociación de Cuevas Turísticas Iberoamericanas

